فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبزیان
سال یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

اثر جایگزینی پودر ماهی با آکوپرو (کنجاله سویای فرآوری شده) بر شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) جوان

خدیجه تقوا[۱]، بهرام فلاحتکار[۲،۳]*، میر مسعود سجادی[۲]

DOI: 10.22124/JAPB.2023.22854.1480
تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۲

چکیده

این مطالعه به منظور تعیین اثر جایگزینی پودر ماهی با آکوپرو (کنجاله سویای فرآوری شده) بر شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) جوان انجام گرفت. بدین منظور، ۱۰۵ قطعه تاس‌ماهی سیبری جوان با میانگین وزن اولیه ۱/۰۷±۱۷۱/۷۹ گرم در پنج تیمار با سه تکرار توزیع شدند. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (AP0)، ۲۰ (AP20)، ۴۰ (AP40)، ۶۰ (AP60) و ۸۰ (AP80) درصد جایگزینی پروتئین آکوپرو به جای پودر ماهی بود. غذادهی ماهیان بر اساس اشتها، روزانه در چهار نوبت و به مدت ۱۲ هفته انجام شد. بر اساس نتایج، بیشترین میزان وزن نهایی در تیمار شاهد (۲۷/۰۰±۲۵۲/۹۵ گرم) مشاهده شد و در بین تیمارهای حاوی آکوپرو نیز بیشترین و کمترین میزان آن به ترتیب در تیمارهای AP60 (۱۴/۷۱±۲۲۶/۳۸ گرم) و AP40 (۴/۱۴±۲۱۱/۰۹ گرم) دیده شد، اما اختلاف معنی‌داری در هیچ یک از تیمارها مشاهده نشد (P>۰/۰۵). نتایج خون‌شناسی اختلاف معنی‌داری را بین تعداد و شمارش افتراقی گلبول‌های سفید در برخی تیمارها با تیمار شاهد نشان داد (P<۰/۰۵). تعداد لنفوسیت‌ها اختلاف معنی‌داری بین تیمارها با تیمار شاهد نشان نداد (P>۰/۰۵)، اما تیمارهای AP20 و AP40 با تیمارهای AP60 و AP80 اختلاف معنی‌داری نشان دادند (P<۰/۰۵). در تعداد گلبول‌های قرمز، هموگلوبین، هماتوکریت، MCV، MCH و MCHC بین تیمار شاهد و تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). بیشترین میزان کلسترول در تیمار AP60 مشاهده شد و اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان داد (P<۰/۰۵). میزان گلوکز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف نشان داد، به طوری که در تیمار AP80 کمترین میزان گلوکز دیده شد و با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۵). در مقادیر تری‌گلیسرید و پروتئین‌های پلاسما (پروتئین کل، گلوبولین و آلبومین) بین تیمار شاهد با تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵). بر اساس نتایج به دست آمده در این مطالعه، با توجه به اهمیت پودر ماهی و قیمت بالای آن، ارزش غذایی آکوپرو و دسترسی آسان و همچنین عدم تاثیر منفی آن بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده، جایگزینی سطوح بالایی از پودر ماهی با آکوپرو در جیره غذایی تاس‌ماهی سیبری جوان امکان‌پذیر است.

واژگان کلیدی: *جایگزینی، شاخص‌های خونی، کنجاله سویا، پروتئین گیاهی، تاس‌ماهی سیبری*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تکثیر و پرورش، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
۲- استاد گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
۳- استاد گروه علوم دریایی، پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
* نویسنده مسئول: falahatkar@guilan.ac.ir

مقدمه

آبزی‌پروری در راستای تامین نیازهای غذایی انسان و استفاده از مواد پروتئینی با منشا جانوری که کیفیت مطلوبی دارند، از اهمیت بسزایی برخوردار است (Hansen et al., 2007). ماهیان خاویاری از باارزش‌ترین ماهیان تجاری دنیا و از ذخایر با اهمیت اقتصادی و زیست‌بوم‌شناسی دریای خزر و از قدیمی‌ترین رده‌های ماهیان هستند (Bemis et al., 1997). این ماهیان به واسطه سرعت رشد بالا، اندازه بزرگ و سازگاری مناسب با محیط، در سراسر جهان به عنوان یک پتانسیل بالقوه در آبزی‌پروری به شمار می‌روند (Bronzi et al., 2011). در میان گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری، پرورش تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) به دلیل سن پایین تولیدمثل و مقاومت آن به شرایط متفاوت محیطی، به عنوان یکی از گونه‌های مهم پرورشی و اصلی‌ترین گونه پرورشی در اروپا در حال افزایش است (Gisbert and Williot, 2002). در میان ۲۷ گونه ماهی خاویاری، تاس‌ماهی سیبری در کنار جذابیت‌های پرورشی (Williot et al., 2001)، به علت داشتن ویژگی‌های ارزشمندی همچون رشد سریع، مقاومت در برابر استرس و سازگاری با شرایط پرورشی یکی از بهترین گونه‌های آبزی‌پروری محسوب می‌شود (Eslamloo et al., 2012; Falahatkar et al., 2014, Falahatkar, 2018). این گونه قابلیت پرورش تک‌گونه‌ای را در حوضچه‌ها، مخازن دایره‌ای، استخرهای پرورشی، سیستم‌های چرخشی، قفس‌ها و استخرهای خاکی با شرایط معتدل دارد (Williot et al., 2001; Adamek et al., 2007). همچنین اگرچه یک ماهی اوراسیایی است و در آب‌های معتدل زندگی می‌کند، اما آزمایش‌ها نشان داده است که این ماهی در دمای بالا نیز به خوبی رشد می‌کند (Falahatkar et al., 2014). تاس‌ماهی سیبری ساکن آب‌های نواحی مصب و دلتای رودخانه‌های سیبری است و منابع غذایی اصلی آن را آمفی‌پودها، ایزوپودها، لاروهای شیرونومیده و پلی‌کیت‌ها تشکیل می‌دهد (Holcik, 1989).

با توجه به نقش تغذیه در آبزی‌پروری و پذیرش این موضوع که جیره غذایی ماهیان ۵۰ تا ۶۰ درصد هزینه‌های پرورش را به خود اختصاص می‌دهد، پرورش و تولید موفقیت‌آمیز به استفاده از خوراک کامل با ترکیب بهینه وابسته است (Cho et al., 2005) که باید تمام

ترکیبات تغذیه‌ای ضروری مانند پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی را برای ماهی فراهم کند (Cho et al., 2005) تا اجازه رشد سریع و سالم به آنها داده شود.

پودر ماهی به دلیل ارزش غذایی بالا و خوش طعم بودن، به عنوان منبع اساسی تامین کننده پروتئین در غذای فرموله شده ماهیان به کار می‌رود. این ماده که خود از ماهی یا بقایای به دست آمده از فرآوری آبزیان تامین می‌شود، از لحاظ تغذیه‌ای بسیار غنی است و بین ۶۰ تا ۷۵ درصد پروتئین خام دارد (Hardy, 2002; FAO, 2019)، اما گران شدن و تهیه آن در بسیاری از نقاط جهان در آینده، آن را به مشکلی جدی برای آبزی‌پروری تبدیل خواهد کرد (FAO, 2019). عنوان شده است که تقاضای بخش آبزی‌پروری برای پودر ماهی تا سال ۲۰۳۰ به رقم ۱۰/۴ میلیون تن بالغ شود که بسیار بیشتر از رقم پیش‌بینی شده ۷/۶ میلیون تن تولید جهانی این ماده غذایی در سال ۲۰۳۰ است (World Bank, 2013). علاوه بر محدود بودن دسترسی، پودر ماهی به عنوان یک ماده گران قیمت در تغذیه آبزیان بوده و جایگزینی آن با موادغذایی ارزان قیمت با منشا جانوری یا گیاهی امری ضروری است (Wang et al., 2012).

در میان منابع جایگزین، اقلام گیاهی به دلیل ویژگی‌هایی مانند هزینه پایین و تامین پایدار (Hardy, 2002; Gatlin et al., 2007) گزینه‌های مناسبی هستند. از میان پروتئین‌های گیاهی، کنجاله سویا گزینه مناسبی برای جایگزینی پودر ماهی به شمار می‌رود. کنجاله سویا، محصول باقیمانده پس از روغن‌کشی از دانه سویا است که به عنوان یک منبع پروتئین در خوراک دام و آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرد. پروتئین سویا یک پروتئین باکیفیت و سرشار از اسیدهای آمینه ضروری است و به عنوان یک منبع مناسب آرژنین، گلیسین و تریپتوفان به حساب می‌آید، اما مقادیر اسیدهای آمینه لیزین و متیونین موجود کمتر از حد مطلوب است (NRC, 2011). سویا مزیت‌های دیگری نیز دارد که از آن جمله می‌توان به مقاومت در برابر فساد اکسیداتیو اشاره کرد و نیز به صورت طبیعی نسبت به پودر ماهی عاری از قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌های مضر برای ماهی و میگو است (Swick et al., 1995)، اما این ماده حاوی یکسری مواد ضدتغذیه‌ای از جمله ساپونین، هموگلوتنین، اسید فایتیک و مواد پلی‌ساکاریدی غیرنشاسته‌ای است که باعث

انسداد روده، ناراحتی‌های گوارشی و کاهش شاخص‌های رشد در آبزیان می‌شود (Bakke-McKellep et al., 2000). از این رو، حذف عوامل ضدتغذیه‌ای برای افزایش سطح سویای جایگزین شده در جیره ماهی ضروری است (Gatlin et al., 2007). تکنیک‌های فرآوری مختلفی از جمله خیساندن، پوسته‌کنی، پختن و تخمیر برای از بین بردن و کاهش مواد ضدتغذیه‌ای سویا استفاده می‌شود (Egounlety and Aworh, 2003; Refstie et al., 2005; Yamamoto et al., 2010).

آکوپرو یکی از مشتقات به دست آمده از سویا است که در آن کنجاله سویا، فرآوری شده و تحت تیمار آنزیمی و عملیات اکستروژن قرار گرفته و مواد ضدتغذیه‌ای آن به شکل چشم‌گیری کاهش یافته است. جذب فوق العاده به دلیل پروفایل اسید آمینه مطلوب، کاهش چشم‌گیر مواد ضدتغذیه‌ای به دلیل فرآوری، عدم بروز مشکلات مربوط به مصرف پروتئین‌های گیاهی در جیره آبزیان و داشتن ۵۱ درصد پروتئین از ویژگی‌های اصلی این محصول به حساب می‌آید (Movahedrad et al., 2018). آکوپرو به دلیل فرآوری خاص دارای مولکول‌های پروتئینی با اندازه کوچک‌تر در مقایسه با سایر منابع پروتئین گیاهی خام است. داشتن مولکول‌های پروتئینی با اندازه کوچک نه‌تنها انرژی کمتری برای هضم و جذب نیاز دارد، بلکه انواع گونه‌های آبزی گوشتخوار مانند قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و برخی از گونه‌های ماهیان خاویاری قابلیت استفاده از این منبع پروتئین را دارند. همچنین در فرآیند تولید آکوپرو با اعمال تیمارهای مختلف سه مرحله‌ای، سطح مواد ضدتغذیه‌ای آن به حداقل رسیده است. فرآوری‌های انجام شده بر روی این منبع موجب بالا رفتن میزان پروتئین، کاهش چشم‌گیر مواد ضدتغذیه‌ای و افزایش قابلیت هضم و جذب شده و آن را به عنوان جایگزینی مناسب برای منابع پروتئین جانوری در جیره غذایی آبزیان تبدیل کرده است.

خون به عنوان بافتی سیال یکی از مهم‌ترین مایعات بدن است که تحت شرایط مختلف فیزیولوژیک و پاتولوژیک، ترکیبات آن تغییر می‌کند (Ballarin et al., 2004). شاخص‌های خون‌شناختی در ماهیان ممکن است تحت تاثیر عوامل فیزیولوژیکی مانند جنسیت، مراحل تولیدمثل، سن، اندازه و سلامتی آنها تغییر کند (Luskova, 1995; Nespolo and Rosenmann, 2002). این شاخص‌ها همچنین تحت تاثیر عوامل خارجی مانند فصل، دمای آب،

شرایط زیستی، غذا، استرس‌ها، انواع آلودگی‌ها و بیماری‌ها دچار تغییر می‌شوند (Sandstrom, 1989; Tavares-Dias et al., 1999; Rios et al., 2002) و این تغییرات فیزیولوژیکی به راحتی می‌توانند نشان دهنده تغییرات کیفی در محیط زیست باشند (Kumar, 2003). بنابراین تعیین شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی می‌تواند نقش مهمی در تشخیص بیماری‌های عفونی، خونی و مسمومیت‌های آبزیان ایفا کند (Shahsavani، 1998). با توجه به موارد یاد شده، نکته حائز اهمیت این است که کاربرد منابع پروتئین گیاهی جایگزین پودر ماهی ممکن است اثرات مختلفی بر وضعیت سلامت ماهی داشته باشد. بنابراین برای تامین سلامت ماهی پرورشی از طریق ارزیابی شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی، می‌توان به سطح بهینه و ایمن کاربرد پروتئین‌های گیاهی مانند سویا در جیره غذایی ماهیان پرورشی دست یافت.

تاکنون مطالعات زیادی درباره جایگزینی پودر ماهی جیره با سویای چربی‌زدایی شده (Tantikitti et al., 2005)، پوسته‌زدایی شده (Choi et al., 2004)، حرارت داده شده (Peres et al., 2003)، استخراج شده به وسیله حلال (Boonyaratpalin et al., 1998)، تخمیر شده (Refstie et al., 2005; Yamamoto et al., 2010) و پرتودهی شده (Sotoudeh et al., 2017) انجام شده است. با توجه به این که مطالعه‌ای در زمینه جایگزینی پودر ماهی با ترکیبات اصلاح شده سویا مانند آکوپرو بر شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی در ماهیان خاویاری انجام نشده است، بنابراین این مطالعه برای تعیین سطح مناسب آکوپرو در جیره غذایی تاس‌ماهی سیبری به عنوان منبع پروتئینی جایگزین و تاثیر آن بر شاخص‌های خون‌شناسی و بیوشیمیایی تاس‌ماهی سیبری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

ماهی و شرایط پرورش

این مطالعه در کارگاه تکثیر و پرورش آبزیان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان طی ۱۲ هفته به همراه دو هفته سازگاری ابتدایی ماهی انجام شد. تاس‌ماهیان سیبری (*Acipenser baerii*) جوان مورد مطالعه، در آبان ۱۳۹۷ از مرکز بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی ماهیان دریایی شادروان دکتر یوسف‌پور سیاهکل به کارگاه تکثیر و پرورش آبزیان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان انتقال داده شدند. قبل از شروع مرحله اصلی مطالعه،

ماهیان برای سازگاری با شرایط جدید به مخازن فایبرگلاس انتقال یافتند و به مدت دو هفته با غذای شاهد تغذیه شدند. پس از اتمام مدت سازگاری، ۱۰۵ قطعه ماهی با میانگین وزن اولیه ۱۷۱/۷۹±۱/۰۷ گرم و به تعداد ۷ قطعه در هر مخزن فایبرگلاس با ظرفیت ۴۵۰ لیتر در ۵ تیمار و هر تیمار با ۳ تکرار (مجموعا ۱۵ مخزن) توزیع شدند و به مدت ۱۲ هفته مورد بررسی قرار گرفتند. سیستم پرورشی در یک مکان سرپوشیده قرار داشت و آب مورد نیاز در مطالعه حاضر از طریق چاه تامین شد. میانگین دما، دبی، اکسیژن محلول و pH آب به ترتیب ۱۶/۶±۰/۶ درجه سانتی‌گراد، ۸/۷±۲/۷ لیتر در دقیقه، ۶±۰/۹ میلی‌گرم در لیتر و ۸/۳±۰/۲ بود. دوره نوری برای پرورش شامل ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی بود.

طراحی آزمایش و تغذیه

در این مطالعه ۵ تیمار غذایی با سطوح جایگزینی صفر (AP0)، ۲۰ (AP20)، ۴۰ (AP40)، ۶۰ (AP60) و ۸۰ (AP80) درصد آکوپرو (کنجاله سویا فرآوری شده) به جای پودر ماهی که از نظر پروتئین و انرژی برابر بودند، استفاده شد (جدول ۱). آکوپرو مورد استفاده از شرکت سنادام پارس- یسنامهر (تهران، ایران)، پودر ماهی کیلکا (ترکیبات شامل ۶۰ درصد پروتئین، ۱۶ درصد چربی، ۱۰ درصد رطوبت و ۱۲ درصد خاکستر) و روغن ماهی از شرکت پودر ماهی خزر (بندرانزلی، ایران)، پودر گوشت و استخوان از شرکت کشتارگاه صنعتی دام (رشت، ایران)، آرد ذرت، آرد گندم و سبوس برنج از شرکت اتحاد گیلان و مکمل‌های ویتامینه و معدنی از شرکت لابراتورهای دارویی سیانس (قزوین، ایران) خریداری شد. فرمولاسیون جیره‌ها توسط نرم‌افزار WinFeed (Limited, Cambridge, UK) انجام گرفت. مراحل آماده‌سازی جیره‌ها در کارگاه ساخت جیره مرکز بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی ماهیان خاویاری شهید دکتر بهشتی (سد سنگر) انجام شد. در مرحله ساخت جیره‌های آزمایشی، ابتدا مواد اولیه پودر شده، با الک ۱۰۰ میکرون الک شد تا نمونه نرم و یکنواختی به دست آید. سپس اقلامی که درصد کمتری در جیره داشتند، شامل مکمل معدنی و ویتامینه، توکسین بایندر، مخمر و نمک با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم (Sartorius، آلمان) توزین و با دستگاه همزن برقی خوب مخلوط شدند و سپس اقلامی که درصد بالاتری در جیره داشتند، شامل پودر ماهی، آکوپرو، آرد ذرت، آرد گندم، سبوس برنج، پودر گوشت و استخوان که با ترازوی دیجیتال با

جدول ۱: فرمولاسیون و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی

ترکیب جیره	سطح جایگزینی آکوپرو در تیمارها (٪)				
	صفر (AP0)	۲۰ (AP20)	۴۰ (AP40)	۶۰ (AP60)	۸۰ (AP80)
اجزای جیره (٪)					
پودر ماهی کیلکا[1]	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰
آکوپرو[2]	۰	۱۶	۳۲	۴۸	۶۴
پودر گوشت	۶/۵۶	۸/۱۶	۹/۷۶	۱۱/۳۶	۱۳/۷۵
آرد گندم	۱۲/۸۷	۹/۳۵	۵/۸۴	۲/۳۲	۰
آرد ذرت	۱۳/۵۷	۹/۴۸	۵/۴۰	۱/۳۲	۰
سبوس برنج	۵	۵	۵	۵	۰/۲۵
روغن ماهی	۳	۳	۳	۳	۳
روغن کانولا	۳	۳	۳	۳	۳
ملاس	۲	۲	۲	۲	۲
مکمل ویتامینه[3]	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
مکمل معدنی[4]	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵
مخمر	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
نمک	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
دی‌کلسیم فسفات[5]	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
توکسین بایندر[6]	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
آنالیز تقریبی*					
پروتئین خام (٪)	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲/۰۳
چربی خام (٪)	۱۴/۷۳	۱۴/۴۵	۱۴/۱۷	۱۳/۸۹	۱۳/۴۰
رطوبت (٪)	۷/۶۲	۷/۹۵	۸/۲۷	۸/۶۰	۹/۳۲
خاکستر (٪)	۷/۱۶	۷/۱۸	۷/۲۰	۷/۲۱	۶/۶۴
انرژی قابل هضم (MJ/kg)	۲۶/۸۵	۲۶/۵۷	۲۶/۳۰	۲۶/۰۲	۲۵/۶۴

AP: AquPro (کنجاله سویای فرآوری شده). *: آنالیز تقریبی از طریق نرم‌افزار WinFeed انجام شد. ۱: شرکت پودر ماهی خزر (بندرانزلی، ایران). ۲: شرکت سنادام پارس- یسنامهر (تهران، ایران). هر کیلوگرم آکوپرو حاوی ٪۵۱ پروتئین، ۲۸۷۰kCal/kg انرژی قابل متابولیسم، ٪۱۲ رطوبت، ٪۷ خاکستر، ٪۲/۸ چربی، ٪۴ فیبر خام، ٪۵ نشاسته و ٪۹ قند است. ۳: شرکت لابراتورهای دارویی سیانس (قزوین، ایران). مکمل ویتامینه: دی- ال- آلفا توکوفرول استات ۶۰IU/kg، دی- ال- کوله کلسیفرول ۳۰۰۰IU/kg، تیامین ۱۵mg/kg، ریبوفلاوین ۳۰mg/kg ، پیرودوکسین ۱۵mg/kg، ویتامین B_{12} ۰/۰۵mg/kg، اسید نیکوتینیک ۱۷۵mg/kg، فولیک اسید ۵mg/kg، اسکوربیک اسید ۵۰۰mg/kg، اینوسیتول ۱۰۰۰mg/kg، بیوتین ۲/۵mg/kg، کلسیم پنتوتنات ۵۰mg/kg، کولین کلراید ۲۰۰۰mg/kg. ۴: شرکت لابراتورهای دارویی سیانس (قزوین، ایران). مکمل معدنی: کربنات کلسیم (٪۴۰) ۲/۱۵g/kg، اکسید منیزیوم ۱/۲۴g/kg، سیترات فریک ۰/۲g/kg، یدید پتاسیم ۰/۴mg/kg، سولفات روی ۰/۴mg/kg، سولفات مس ۰/۳g/kg، سولفات منگنز ۰/۳g/kg، کلسیم فسفات دو ظرفیتی ۵g/kg، سولفات کبالت ۲mg/kg،

سلنیت سدیم ۳mg/kg، کلرید پتاسیم ۰/۹g/kg، کلرید سدیم ۰/۴g/kg. ۵: شرکت جهان فسفات (رودسر، ایران). ۶: شرکت Bria Biotech LLC (لاس‌وگاس، آمریکا).

دقت یک گرم توزین شده بودند، به صورت دستی مخلوط و نهایتا تمام اقلام به صورت یکنواخت با همدیگر مخلوط شدند. پس از آن به طور کامل با روغن‌های ماهی و کلزا ترکیب و با مقدار مناسبی آب مخلوط شدند و یک ترکیب خمیری شکل به دست آمد. مخلوط به دست آمده با چرخ گوشت صنعتی با چشمه ۲ میلی‌متر دو بار چرخ و سپس روی سینی‌ها پخش شد و با استفاده از خشک‌کن صنعتی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۶ ساعت خشک شد. پس از اتمام مرحله خشک شدن، رشته‌ها به پلت‌های کوچک مطابق با اندازه دهان ماهی شکسته شد. سپس جیره‌های آزمایشی بسته‌بندی و در محیط خشک و خنک نگهداری شدند. غذادهی به ماهیان به صورت دستی و روزانه در چهار نوبت (ساعات ۹، ۱۳، ۱۷ و ۲۱) صورت گرفت. هر روز قبل از اولین غذادهی، مخازن سیفون شده و حدود ۵۰ درصد از آب آنها تعویض می‌شد تا به این طریق باقیمانده‌های غذایی و مدفوع خارج شود. پس از آن با آبگیری مجدد مخازن مقداری غذا به تدریج و با توجه به اشتهای ماهیان در آب پخش می‌شد. در انتهای دوره نیز وزن ماهیان مخازن پس از بیهوشی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Taghva et al., 2020).

تعیین شاخص‌های خون‌شناسی

در انتهای دوره پرورش، ۲ ماهی از هر مخزن به صورت تصادفی صید و سپس با عصاره پودر گل میخک به میزان ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر (Defaee et al., 2016) بیهوش شد و خون‌گیری با سرنگ هپارینه ۲ میلی‌لیتری از سیاهرگ ساقه دمی ماهی انجام گرفت. حدود ۲ میلی‌لیتر خون از هر ماهی گرفته شد. نمونه‌های خون بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و برخی شاخص‌های خون‌شناسی همچون تعداد گلبول‌های قرمز و سفید با استفاده از لام هموسیتومتر، شمارش افتراقی با استفاده از تهیه گسترش خونی، میزان هموگلوبین با روش سیان مت هموگلوبین (Barcellos et al., 2004) و با استفاده از کیت تشخیصی (پارس آزمون، ایران) محاسبه و درصد هماتوکریت به روش میکروهماتوکریت اندازه‌گیری شد. شاخص‌های خونی شامل میانگین حجم گلبول قرمز (MCV)، میانگین هموگلوبین گلبول قرمز (MCH) و میانگین غلظت هموگلوبین گلبول قرمز (MCHC) محاسبه شدند (Skov et al.,

2011). برای اندازه‌گیری شاخص‌های خون‌شناسی از ۰/۵ میلی‌لیتر خون استفاده شد و باقیمانده خون به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و پلاسمای جدا شده پس از انتقال به ویال‌های اپندورف، در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد منجمد و تا زمان سنجش نگهداری شد. تعیین گلوکز پلاسما از روش آنزیمی- کالریمتری (CHOD-PAP) و با استفاده از کیت تشخیصی (پارس آزمون، ایران) انجام شد. پروتئین کل با روش بیوره (Fynn-Aikins et al., 1992)، تری‌گلیسرید و کلسترول نیز به ترتیب با روش GPO-PAP و CHOD-PAP با استفاده از کیت تشخیصی (پارس آزمون، ایران) اندازه‌گیری شدند. آلبومین پلاسما بر اساس روش تشخیصی کالریمتری (Rehulka, 2000) و میزان گلوبولین نیز با استفاده از مقادیر آلبومین و پروتئین کل به دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به دست آمده از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Version 18, IBM, USA) تجزیه و تحلیل شدند. برای کنترل نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)، همگنی واریانس‌ها از آزمون Levene و تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از آزمایش از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) و پس‌آزمون چند دامنه‌ای Tukey در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج

بر اساس نتایج مربوط به رشد، بیشترین میزان وزن نهایی در تیمار شاهد (۲۷/۰۰±۲۵۲/۹۵ گرم) مشاهده شد و در بین تیمارهای حاوی آکوپرو نیز بیشترین و کمترین میزان آن به ترتیب در تیمارهای AP60 (۱۴/۷۱±۲۲۶/۳۸ گرم) و AP40 (۴/۱۴±۲۱۱/۰۹ گرم) دیده شد، اما اختلاف معنی‌داری در بین تیمارها مشاهده نشد (P>۰/۰۵). نتایج شاخص‌های خونی در جدول ۲ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به شاخص‌های خون‌شناسی اختلاف معنی‌داری در برخی شاخص‌ها نشان داد. طبق نتایج به دست آمده، در تعداد گلبول‌های سفید اختلاف معنی‌دار دیده شد، به طوری که با افزایش سطوح جایگزینی آکوپرو با پودر ماهی تا سطح ۴۰ درصد افزایش معنی‌دار و سپس در سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد کاهش معنی‌دار در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد (P<۰/۰۵).

جدول ۲: تغییرات شاخص‌های خون‌شناسی تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) تغذیه شده با سطوح مختلف جایگزینی آکوپرو پس از ۱۲ هفته (میانگین ± خطای استاندارد؛ n=۶)

شاخص‌های خونی	تیمارها				
	AP0	AP20	AP40	AP60	AP80
هماتوکریت (٪)	۳۸/۵۰ ± ۲/۲۵	۴۲/۱۶ ± ۱/۴۷	۳۸/۳۳ ± ۴/۱۷	۴۲/۱۶ ± ۲/۶۳	۴۰/۶۶ ± ۳/۷۲
هموگلوبین (g/dL)	۷/۶۸ ± ۰/۴۵	۸/۳۶ ± ۰/۲۷	۷/۵۸ ± ۰/۷۴	۸/۳۱ ± ۰/۵۳	۸/۰۱ ± ۰/۶۷
تعداد گلبول‌های قرمز ($\times 10^5$ cell/mm^3)	۶/۹۵ ± ۰/۳۹	۷/۵۳ ± ۰/۲۴	۶/۸۰ ± ۰/۶۴	۷/۵۷ ± ۰/۵۷	۷/۲۷ ± ۰/۵۸
تعداد گلبول‌های سفید ($\times 10^3$ cell/mm^3)	۶/۷۳ ± ۰/۳۵^{b}	۷/۶۲ ± ۰/۵۶^{b}	۸/۶۷ ± ۰/۸۳^{a}	۴/۷۷ ± ۰/۳۵^{c}	۵/۱۸ ± ۰/۳۸^{c}
MCV (fL)	۵۵۳/۸۳ ± ۵/۶۳	۵۶۰/۰۰ ± ۸/۶۷	۵۵۴/۶۶ ± ۱۱/۱۴	۵۵۶/۸۳ ± ۱۲/۶۰	۵۵۸/۵۰ ± ۹/۸۳
MCH (pg/cell)	۱۱۰/۵۵ ± ۰/۴۸	۱۱۱/۱۳ ± ۲/۰۵	۱۰۹/۸۶ ± ۱/۴۵	۱۰۹/۸۶ ± ۱/۸۲	۱۱۰/۱۳ ± ۰/۸۳
MCHC (g/dL)	۱۹/۹۳ ± ۰/۱۹	۱۹/۸۳ ± ۰/۲۰	۱۹/۷۸ ± ۰/۲۴	۱۹/۷۰ ± ۰/۱۸	۱۹/۷۰ ± ۰/۲۲
لنفوسیت (٪)	۷۶/۰۰ ± ۳/۴۶^{ab}	۷۳/۸۳ ± ۱/۹۴^{b}	۷۳/۵۰ ± ۲/۷۳^{b}	۷۹/۶۳ ± ۱/۴۷^{a}	۷۹/۸۳ ± ۱/۶۰^{a}
نوتروفیل (٪)	۱۸/۳۳ ± ۲/۳۳^{a}	۲۰/۱۶ ± ۱/۶۰^{a}	۲۰/۸۳ ± ۱/۱۶^{a}	۱۵/۱۶ ± ۱/۱۶^{b}	۱۵/۱۶ ± ۱/۱۶^{b}
مونوسیت (٪)	۴/۸۳ ± ۱/۱۶	۵/۳۳ ± ۰/۵۱	۵/۰۰ ± ۱/۲۶	۴/۳۵ ± ۰/۸۳	۴/۰۰ ± ۰/۸۹
ائوزینوفیل (٪)	۱/۲۵ ± ۰/۵۰	۱/۳۳ ± ۰/۵۷	۱/۳۳ ± ۰/۵۷	۱/۴۰ ± ۰/۷۰	۱/۲۰ ± ۰/۴۴

حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است (P<۰/۰۵).

در شمارش افتراقی گلبول‌های سفید تفاوت معنی‌داری در تعداد نوتروفیل‌ها با تیمار شاهد مشاهده شد، به طوری که تیمارهای AP60 و AP80 کمترین میزان نوتروفیل را نشان دادند و با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند (P<۰/۰۵). کمترین و بیشترین تعداد لنفوسیت‌ها نیز به ترتیب در تیمارهای AP60 و AP80 بود، اما اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد مشاهده نشد (P>۰/۰۵). در شاخص‌های خونی دیگر اختلاف معنی‌داری در بین تیمارهای مختلف وجود نداشت (P>۰/۰۵).

نتایج شاخص‌های بیوشیمیایی خون در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین میزان کلسترول در تیمار AP60 مشاهده شد و اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان داد (P<۰/۰۵).

جدول ۳: تغییرات شاخص‌های بیوشیمیایی پلاسمای خون تاس‌ماهی سیبری (*Acipenser baerii*) تغذیه شده با سطوح مختلف جایگزینی آکوپرو پس از ۱۲ هفته (میانگین ± خطای استاندارد؛ n=۶)

شاخص‌های بیوشیمیایی خون	تیمارها				
	AP0	AP20	AP40	AP60	AP80
گلوکز (mg/dL)	۸۲/۱۹ ± ۱۶/۱۵^{ab}	۹۶/۱۵ ± ۱۶/۵۷^{a}	۸۳/۶۵ ± ۹/۳۸^{a}	۵۹/۹۳ ± ۱۲/۸۵^{bc}	۵۷/۶۸ ± ۱۳/۶۲^{c}
کلسترول (mg/dL)	۴۱/۷۶ ± ۲۹/۰۶^{b}	۶۳/۰۵ ± ۸/۱۷^{b}	۴۶/۵۴ ± ۱۸/۸۶^{b}	۸۸/۷۳ ± ۱۲/۱۷^{a}	۷۲/۹۳ ± ۱۳/۳۷^{b}
تری‌گلیسرید (mg/dL)	۲۳۳/۳۳ ± ۷۷/۵۱	۳۸۷/۴۵ ± ۸۱/۷۱	۴۱۳/۰۵ ± ۱۱۷/۲۲	۴۰۰/۱۹ ± ۱۵۳/۹۴	۳۲۱/۲۹ ± ۹۰/۸۴
پروتئین کل (g/dL)	۶/۲۵ ± ۱/۳۹	۷/۱۱ ± ۱/۰۸	۷/۴۶ ± ۱/۸۸	۷/۵۲ ± ۲/۰۸	۵/۰۵ ± ۱/۲۰
آلبومین (g/dL)	۱/۹۵ ± ۰/۵۵	۱/۹۱ ± ۰/۵۸	۲/۱۶ ± ۰/۸۰	۲/۳۸ ± ۰/۶۹	۱/۶۱ ± ۰/۶۵
گلوبولین (g/dL)	۴/۲۹ ± ۱/۱۰	۵/۵۲ ± ۱/۲۲	۵/۲۹ ± ۱/۹۴	۵/۱۴ ± ۱/۶۹	۳/۴۴ ± ۱/۲۶

حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است (P<۰/۰).

میزان گلوکز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف نشان داد، به طوری که در تیمار AP80 کمترین میزان گلوکز دیده شد و با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۵). میزان تری‌گلیسرید پلاسما در تیمارهای مختلف نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت، اما اختلاف معنی‌داری در میان آنها دیده نشد (P>۰/۰۵). میزان کلسترول پلاسما با افزایش سطح جایگزینی به صورت نامنظم افزایش یافت، اما اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف با تیمار شاهد دیده نشد (P>۰/۰۵). میزان پروتئین کل با افزایش سطوح جایگزینی آکوپرو در جیره غذایی تا تیمار AP60 افزایش یافت و در تیمار AP80 کمترین میزان آن مشاهده شد. با این وجود، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد (P>۰/۰۵). پروتئین‌های دیگر پلاسما (آلبومین و گلوبولین) نیز اختلاف معنی‌داری در بین تیمارها نشان ندادند (P>۰/۰۵).

بحث

بررسی داده‌های مربوط به شاخص‌های خون‌شناسی در این مطالعه که بر روی جایگزینی آکوپرو در تغذیه تاس‌ماهی سیبری انجام شد، نشان داد که در تعداد گلبول‌های قرمز، مقدار هموگلوبین و هماتوکریت تفاوت معنی‌داری در بین تیمارها دیده نشد، اما در تعداد گلبول‌های سفید اختلاف معنی‌دار مشاهده شد، به طوری که تعداد گلبول‌های سفید با افزایش سطوح جایگزینی آکوپرو با پودر ماهی تا سطح ۴۰ درصد افزایش معنی‌دار و سپس در سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد کاهش معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد نشان داد. مطابق با نتایج حاضر، Hosseinifard و همکاران (۲۰۱۳) با جایگزینی سطوح مختلف آرد سویا همراه با مکمل آنزیمی آویزایم در جیره ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان اختلاف معنی‌داری در تعداد گلبول‌های سفید مشاهده کردند و تیمار حاوی ۵۰ درصد پروتئین آرد سویا بیشترین میزان گلبول‌های سفید را نشان داد. همچنین Haghbayan و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی جایگزینی پودر ماهی با پودر اصلاح شده سویا در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، افزایش تعداد گلبول‌های سفید را با افزایش میزان جایگزینی گزارش کردند. در مقابل، Safaei و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی کنجاله سویا در جیره بچه‌ماهی استرلیاد (*Acipenser ruthenus*)، Pagheh و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی تاثیر لسیتین سویای جیره ماهی صبیتی (*Sparidentex hasta*) جوان و Jahanbakhshi و همکاران (۲۰۱۳) با جایگزینی پروتئین گیاهی (کنجاله کنجد و گلوتن ذرت) به جای پودر ماهی در جیره فیل‌ماهیان (*Huso huso*) بالغ اختلاف معنی‌داری در تعداد گلبول‌های سفید مشاهده نکردند. به طور کلی، تغییر در تعداد گلبول‌های سفید نقش مهمی را در ارزیابی سلامت ماهیان ایفا می‌کند (Gabriel et al., 2004). افزایش تعداد گلبول‌های سفید در مواردی مانند عفونت‌های باکتریایی و شرایط استرس‌زا مشاهده می‌شود (Andrews et al., 2009). افزون بر آن، به واسطه عفونت باکتریایی علایم دیگری مانند کاهش غیرمنتظره وزن بدون تغییر در ترکیب جیره یا علایم ظاهری بر روی بدن ماهی اتفاق خواهد افتاد (Ahmadifar et al., 2011). طبق نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، بیشترین تعداد گلبول‌های سفید در تیمار AP40 مشاهده شد، اما هیچ کدام از تیمارها کاهش وزن نشان ندادند. تقویت سیستم ایمنی غیراختصاصی ماهی می‌تواند به علت

استفاده از ترکیب گیاهی به کار برده شده نیز باشد (Vinodhini and Narayanan, 2009; Hajibeglou and Sudagar, 2010; Alishahi et al., 2011)، چرا که دانه‌های سویا سرشار از اسیدهای چرب امگا ۳ هستند و این اسیدها به افزایش تولید فاگوسیت‌های بدن کمک می‌کنند (Wang et al., 2000). مطابق با نتایج به دست آمده، در سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد کاهش معنی‌دار گلبول‌های سفید در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده شد که می‌توان علت آن را افزایش مواد ضدتغذیه‌ای جیره (شامل محدود کننده تریپسین، ساپونین، اسید فیتیک (NRC, 2011) در تیمارهای با سطوح بیشتر جایگزینی آکوپرو به جای پودر ماهی نسبت به تیمارهای با سطوح کمتر دانست. در آکوپرو میزان مواد ضدتغذیه‌ای سویا به حداقل رسیده است (Movahedrad et al., 2018)، اما این میزان به صفر نمی‌رسد، از این رو در تیمارهای AP60 و AP80، بیشترین میزان این شاخص‌ها مشاهده شد. وجود این مواد موجب کاهش قابلیت هضم و جذب سویا و نهایتا اسیدهای چرب امگا ۳ خواهد شد (Zhu et al., 2011). بنابراین، با کاهش جذب این اسیدها، احتمالا میزان گلبول‌های سفید در تیمارهای AP60 و AP80 نسبت به تیمارهای دیگر کاهش یافت و سرکوب جزیی دستگاه ایمنی در این سطوح مشاهده شد.

گلبول‌های سفید نقش مهمی در سیستم ایمنی ذاتی دارند. توانایی آنها در کشتن میکروب‌های بیماری‌زا یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های حفاظتی محسوب می‌شود و تعداد آنها می‌تواند به عنوان نشانگر وضعیت سلامت ماهیان در نظر گرفته شود (Miyazaki, 1998; Flores-Miranda et al., 2011). انواع مختلفی از گلبول‌های سفید وجود دارند که از آن جمله می‌توان به نوتروفیل‌ها اشاره کرد که در عمل فاگوسیتوز نقش دارند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، در شمارش افتراقی گلبول‌های سفید تفاوت معنی‌داری در تعداد نوتروفیل‌ها با تیمار شاهد مشاهده شد، به طوری که تیمارهای AP60 و AP80 کمترین تعداد نوتروفیل را داشتند و از این نظر با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نشان دادند. در تیمارهای دیگر نیز با افزایش سطوح جایگزینی تا سطح ۴۰ درصد میزان نوتروفیل افزایش یافت، اما اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد دیده نشد. با توجه به این که استفاده از آرد سویا می‌تواند منجر به افزایش گلبول‌های سفید از جمله نوتروفیل‌ها شود (Barrows et al., 2007)، در تیمار AP40 بیشترین میزان

آن مشاهده شد، اما این افزایش اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد که نشان دهنده اثرات جزیی آکوپرو در میزان نوتروفیل است. تیمارهای AP60 و AP80 نیز اثرات منفی در میزان نوتروفیل در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند. سویا دارای سطوح بالایی از ترکیبات فنولی به نام ایزوفلاون است که در فرآورده‌های آن نیز یافت می‌شوند (Peeters et al., 2003). یکی از فراوان‌ترین ایزوفلاون‌های موجود در سویا، جنیستین است (Murphy et al., 1999). ایزوفلاون‌ها ترکیبات نهایی برای حفاظت طبیعی گیاه سویا در مقابل شرایط استرس مانند خشکی و حرارت در طی رشد گیاه هستند. به همین علت ممکن است برای افزایش مقاومت بدن در مقابله با شرایط استرس و غیره مفید باشند (Messina et al., 2004). مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که سطوح بالای جنیستین می‌تواند ماکروفاژها و سلول‌های فاگوسیتوز کننده را از طریق ممانعت از فعالیت تیروزین کیناز II کاهش دهد (Steele and Brahmi, 1988). با این وجود، سطوح پایین جنیستین می‌تواند فعالیت سلول‌های کشنده طبیعی را ارتقا بخشد (Zhang et al., 1999). در سیستم ایمنی تاس‌ماهیان مورد بررسی در این پژوهش نیز تاثیراتی بر روی برخی از گلبول‌های سفید مشاهده شد که این تغییرات در مورد نوتروفیل نمایان بود، تا جایی که میزان کاهش نوتروفیل در تیمارهای AP60 و AP80 معنی‌دار بود. با وجود پژوهش‌های گسترده، تاکنون مطالعه‌ای درباره بررسی اثر ایزوفلاون‌ها بر سیستم ایمنی ماهیان انجام نشده است و عمده مطالعات انجام شده روی انسان و موجوداتی غیر از آبزیان است. در مطالعه‌ای، این ماده در مقادیر بالا باعث کاهش تولید اکسید نیتریت در موش‌ها شد که یکی از عوامل تحریک سیستم ایمنی در این حیوان محسوب می‌شود (Whitten and Naftolin, 1992). در مطالعه‌ای دیگر نیز جنیستین در مقادیر بالا باعث جلوگیری از تولید لنفوسیت T در پاسخ به آنتی‌بادی در انسان شد و نیز مانع تولید لکوسیت B4 و اینترلوکین‌ها شد (Calemine et al., 2003). مطالعات انجام شده در موجودات دیگر نشان دهنده کاهش عملکرد سیستم ایمنی در سطوح بالای ایزوفلاون‌ها بوده که مطابق با نتایج مطالعه حاضر است، اما با توجه به عدم بررسی این ماده در سیستم ایمنی ماهیان، بررسی تاثیرپذیری آن به مطالعات بیشتری نیاز دارد.

از انواع دیگر گلبول‌های سفید می‌توان به لنفوسیت‌ها اشاره کرد که بیشتر در ایمنی

اختصاصی سلولی نقش دارند (Stoskopf, 1998; Roberts, 2001). در مطالعه حاضر، تعداد لنفوسیت‌ها با افزایش میزان جایگزینی افزایش یافت و تیمارهای AP20 و AP40 با تیمارهای AP60 و AP80 اختلاف معنی‌داری نشان دادند، اما در هیچ یک از موارد با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری دیده نشد. Safaei و همکاران (۲۰۱۹) نیز در بررسی خود بر روی بچه‌ماهی استرلیاد در میزان لنفوسیت اختلاف معنی‌داری گزارش نکردند. همچنین Jalili و همکاران (۲۰۱۳) عدم وجود اختلاف معنی‌دار در تعداد لنفوسیت‌ها را در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با سطوح متفاوت پروتئین گیاهی گزارش کردند. در مقابل این نتایج، Salahshoori و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی سطوح پروتئین جیره بر روی بچه فیل‌ماهی اختلاف معنی‌داری در تعداد لنفوسیت‌ها مشاهده کردند. لنفوسیت‌ها معمولا فراوان‌ترین گلبول‌های سفید در خون ماهیان هستند (Alexander et al., 1980). با توجه به این که آرد سویا در افزایش میزان گلبول‌های سفید اثرات مثبت دارد (Rumsey et al., 1994; Barrows et al., 2007)، میزان آن با افزایش سطوح جایگزینی در مطالعه حاضر نیز زیاد شد، به طوری‌که بین تیمارهای ۲۰ و ۴۰ درصد با تیمارهای ۶۰ و ۸۰ درصد جایگزینی پودر ماهی با آکوپرو اختلاف معنی‌دار دیده شد، اما در تیمارهای حاوی آکوپرو به اندازه‌ای نبود که با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نشان دهد. بنابراین، عدم ایجاد تاثیر منفی در میزان لنفوسیت‌ها نشان‌دهنده مناسب بودن جایگزینی پودر ماهی با آکوپرو است.

شاخص‌های خونی شامل MCV، MCH و MCHC در بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری نداشتند. با توجه به این که افزایش میزان MCV، MCH و MCHC به عنوان نشانه‌ای از بی‌نظمی و اختلال در فعالیت اندام‌های خون‌ساز مانند طحال و کبد و بروز مسمومیت و کم‌خونی تلقی می‌شود (Munker et al., 2007)، عدم تغییر در شاخص‌های یاد شده در مطالعه حاضر نشان دهنده شرایط مناسب فیزیولوژیک و خونی تاس‌ماهیان سیبری تحت تیمار جایگزینی آکوپرو است.

بر اساس تحلیل داده‌های مربوط به شاخص‌های بیوشیمیایی در این مطالعه، میزان گلوکز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف نشان داد به طوری که، در تیمار AP80 کمترین میزان گلوکز دیده شد و با تیمار شاهد اختلاف نشان داد. در آکوپرو میزان شاخص‌های ضدتغذیه‌ای به حداقل رسیده است

(Movahedrad et al., 2018)، اما کاملا از بین نرفته است و درصدی از این عوامل در آن یافت می‌شود که با افزایش سطوح جایگزینی آکوپرو با پودر ماهی، میزان آنها افزایش یافت. از این رو، با توجه به افزایش مواد ضدتغذیه‌ای سویا در تیمار AP80، میزان هضم و جذب سویا کاهش یافت و موجب کاهش جذب گلوکز در این سطح جایگزینی شد. در همین رابطه، Taghizadeh و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که با افزایش سطوح آرد سویا و گلوتن ذرت در جیره فیل‌ماهی میزان گلوکز به طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج Hosseinifard و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد با افزایش سطوح آرد سویا با مکمل آنزیمی آویزایم در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان میزان گلوکز به طور معنی‌داری کاهش یافت. در مقابل، Silva-Carrillo و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند جایگزینی کنجاله سویا به جای پودر ماهی در جیره بچه‌ماهی سرخوی خالدار (*Lutjanus guttatus*) تفاوت معنی‌داری در میزان گلوکز ایجاد نکرد.

در مطالعه حاضر، میزان تری‌گلیسرید پلاسما در تیمارهای مختلف نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت، اما اختلاف معنی‌داری در میان آنها دیده نشد. افزایش سطح تری‌گلیسرید پلاسما می‌تواند نشان دهنده عدم تامین اسیدهای آمینه ضروری به میزان مناسب باشد که منجر به ایجاد اختلال در کار کبد، افزایش لیپوژنز و کاهش بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب و سوخت و ساز چربی‌ها می‌شود (Matter et al., 2004). بررسی نتایج کلسترول پلاسما نشان داد با افزایش سطح جایگزینی میزان آن به صورت نامنظم افزایش یافت و در تیمار AP60 با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد. Taghizadeh و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی روی فیل‌ماهی جوان، Hosseinifard و همکاران (۲۰۱۳) و Kaushik و همکاران (۱۹۹۵) در بررسی‌های خود بر روی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به نتایج متفاوتی با نتایج مطالعه حاضر دست یافتند و کاهش در میزان کلسترول پلاسما را گزارش کردند. در تطابق با نتایج مطالعه حاضر، Mohammadi Nafchi و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی کنجاله سویا به جای پودر ماهی بر روی بچه‌ماهی بنی (*Mesopotamichthys sharpeyi*)، Ye و همکاران (۲۰۱۱) و Zhou و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی کنجاله سویا به جای پودر ماهی بر روی بچه‌ماهی هالیبوت ژاپنی (*Paralichthys olivaceus*) و بچه‌ماهی سوکلا (*Rachycentron canadum*) گزارش

کردند که با افزایش سطوح جایگزینی میزان کلسترول پلاسما افزایش یافت. هیچ ارتباط روشنی بین سطوح جایگزینی پودر ماهی با منابع جایگزین در جیره غذایی، با کلسترول خون تاس‌ماهی سیبری وجود ندارد. همان طور که در بالا اشاره شد، قسمت عمده آپولیپوپروتئین‌های دخیل در متابولیسم چربی‌ها در کبد ساخته می‌شوند و عملکرد کبد بر روی آنها تاثیرگذار است و افزایش میزان چربی موجب کاهش سوخت و ساز آن در کبد می‌شود. از این رو، با توجه به این که میزان چربی جیره در مطالعه حاضر تقریبا ثابت بود، این موضوع احتمالا به دلیل سرشار بودن آکوپرو از اسیدهای چرب ضروری است که می‌تواند میزان کلسترول خون در ماهیان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف آکوپرو را تحت تاثیر قرار دهد.

در مطالعه حاضر، اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار آلبومین و گلوبولین پلاسما در بین تیمارها مشاهده نشد. میزان پروتئین کل با افزایش سطوح جایگزینی آکوپرو در جیره غذایی، تا تیمار AP60 افزایش یافت و در تیمار AP80 کمترین میزان آن مشاهده شد، با این وجود، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد. این نتایج با مشاهدات Emdadi و همکاران (۲۰۱۳) بر روی ماهی ازون‌برون (*Acipenser stellatus*)، Hosseinifard و همکاران (۲۰۱۳) بر روی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، Imanpoor و همکاران (۲۰۱۰) بر روی ماهی تاس‌ماهی‌ایرانی (*Acipenser persicus*)، Lim و Lee (۲۰۰۹) بر روی طوطی‌ماهی (*Oplegnathus fasciatus*) و Zhou و همکاران (۲۰۰۵) در ماهی سوکلا مطابقت داشت. در مقابل، نتایج مطالعات Saedi و همکاران (۲۰۱۲) بر روی ماهی پاکوی قرمز (*Piaractus brachypomus*) و Ye و همکاران (۲۰۱۱) بر روی بچه‌ماهی هالیبوت ژاپنی با نتایج مطالعه حاضر مغایرت داشت. استفاده از منابع پروتئین جایگزین پودر ماهی در جیره، سوخت و ساز پروتئین را در بدن ماهی تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث ایجاد تغییراتی در میزان فعالیت آنزیم‌هایی که در ارتباط با سوخت و ساز پروتئین هستند، می‌شود (Ogunji et al., 2008).

در مجموع، مطالعه حاضر نشان داد جایگزینی آکوپرو با پودر ماهی در جیره‌غذایی تاس‌ماهی سیبری، هیچ اثر نامطلوبی بر شاخص‌های خونی و بیوشمیایی این ماهی نداشت. با توجه به نتایج کسب شده، استفاده از آکوپرو در سطوح بالا تاثیر منفی در شاخص‌های

خونی نداشت و می‌توان با افزایش این منبع پروتئین گیاهی در جیره‌غذایی تاس‌ماهی سیبری، قیمت تمام شده غذا را به ازای تولید هر کیلوگرم ماهی، کاهش داد. از این رو، با توجه به اهمیت پودر ماهی و قیمت آن، ارزش غذایی آکوپرو و دسترسی آسان و عدم تاثیر منفی بر روی شاخص‌های تغییر یافته شامل گلبول سفید، نوتروفیل و کلسترول، جایگزینی سطوح بالایی از پودر ماهی با آکوپرو امکان‌پذیر است و نیازمند مطالعات تکمیلی در این زمینه است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه کارکنان مرکز بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی ماهیان دریایی شادروان دکتر یوسف‌پور بویژه آقایان مهندس ایرج عفت‌پناه، مهندس بهمن مکنت‌خواه و دکتر مهدی رحمتی صمیمانه سپاسگزاری و قدردانی به عمل می‌آید. همچنین نویسندگان این مقاله از پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر جهت حمایت‌های مالی از این پروژه قدردانی می‌نمایند.

منابع

Adamek Z., Prokes M., Barus V. and Sukop I. 2007. Diet and growth of 1+ Siberian sturgeon, (*Acipenser baerii*) in alternative pond culture. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 13: 153–160.

Ahmadifar E., Akrami R., Ghelichi A. and Mohammadi Zarejabad A. 2011. Effects of different dietary prebiotic inulin levels on blood serum enzyme, hematologic and biochemical parameters of great sturgeon (*Huso huso*) juvenile. Comparative Clinical Pathology, 20: 447–451. doi: 10.1007/s00580-010-1017-2

Alexander N., Laurs R.M., Mcintosh A. and Russell W. 1980. Haematological characteristics of albacore, *Thunnus alulunga* (Bonnaterre), and skipjack, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus). Journal of Fish Biology, 16: 383–395. doi: 10.1111/j.1095-8649.1980.tb03716.x

Alishahi M., Soltani M., Mesbah M. and Esmaili Rad A. 2011. Effects of dietary *Silybum marianum* extract on some immune responses of common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Veterinary Research, 66: 255–263.

Andrews S.R., Sahu N.P., Pal A.K. and Kumar S. 2009. Hematological modulation and growth of Labeo rohita fingerlings: Effect of dietary mannanoligosaccharide, yeast extract, protein hydrolysate and chlorella. Aquaculture Research, 41: 61–69. doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02304.x

Bakke-McKellep A.M., Press C.M.L., Baeverfjord G., Krogdahl A. and Landsverk T. 2000. Changes inimmune and enzyme histochemical phenotypes of cells in the intestinal mucosa of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., with soybean meal-induced enteritis. Journal of Fish Diseases, 23: 115–127. doi: 10.1046/j.1365-2761.2000.00218.x

Ballarin L., Dalloro M., Bertotto D., Libertini I., Francescon A. and Barbaro A. 2004. Hematological parameters in *Umbrina cirrosa* (Teleostei, Sciaenidae): A comparison between diploid and triploid specimens. Comparative Biochemistry and Physiology, 138: 45–51. doi: 10.1016/j.cbpb.2004.02.019

Barcellos L.J.G., Kreutz L.C., Souza C., Rodrigues L.B., Fioreze I., Quevedo R.M., Cericato L., Soso A.B., Fagundes M., Conrad J., Lacerda L.A. and Terra S. 2004. Hematological changes in jundia (*Rhamdia quelen* Quoy and Gaimard Pimelodidae) after acute and chronic stress caused by usual aquacultural

management, with emphasis on immunosuppressive effects. Aquaculture, 237: 229–236. doi: 10.1016/j.aquaculture.2004.03.026

Barrows T.F., Stone D.A.J. and Hardy R.W. 2007. The effects of extrusion conditions on the nutritional value of soybean meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 254: 466–475. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.01.017

Bemis W.E., Findeis E.K. and Grande L. 1997. An overview of Acipenseriformes. Environmental Biology of Fishes, 48: 25–71. doi: 10.1023/A:1007370213924

Boonyaratpalin M., Suraneiranat P. and Tunpibal T. 1998. Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for the Asian seabass (*Lates calcarifer*). Aquaculture, 161: 67–78. doi: 10.1016/S0044-8486(97)00257-3

Bronzi P., Rosenthal H. and Gessner J. 2011. Global sturgeon aquaculture production: An overview. Journal of Applied Ichthyology, 27: 169–175. doi: 10.1111/j.1439-0426.2011.01757.x

Calemine J., Zalenka J., Karpuzoglu-Sahin E., Ward D.L., Lengi A. and Ahmed S.A. 2003. The immune system of geriatric mice is modulated by estrogenic endocrine disruptors (diethylstilbestrol, alphazearalanol, and genistein): Effects on interferongamma. Toxicology, 194: 115–128. doi: 10.1016/s0300-483x(03)00286-5

Cho S.M., Gu Y.S. and Kim S.B. 2005. Extraction optimization and physical properties of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) skin gelatin compared to mammalian gelatins. Food Hydrocoll, 19: 221–229. doi: 10.1016/j.foodhyd.2004.05.005

Choi S.M., Wang X., Park G.J., Lim S.R., Kim K.W., Bai S.C. and Sin I.S. 2004. Dietary dehulled soybean meal as a replacement for fish meal in fingerling and growing olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). Aquaculture Research, 35: 410–418. doi: 10.1111/j.1365-2109.2004.01046.x

Defaee S., Falahatkar B. and Efatpanah I. 2016. Effects of digestrom P.E.P on growth and some hematological parameters of juvenile beluga sturgeon (*Huso huso*). Journal of Fisheries Science and Technology, 5(1): 83–95.

Egounlety M. and Aworh O.C. 2003. Effect of soaking, dehulling, cooking and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max*), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa*). Journal of Food Engineering, 56: 249–254. doi: 10.1111/j.1365-2109.2004.01046.x

Emdadi B., Sajjadi M.M., Yazdani M.A., Shakurian M. and Pourdehghani M. 2013. Influence of replacing fish meal with soybean meal on carcass composition and plasma biochemical parameters of stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*). Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics, 2(1): 41–53.

Eslamloo K., Falahatkar B. and Yokoyama S. 2012. Effects of dietary bovine lactoferrin on growth, physiological performance, iron metabolism and non-specific immune responses of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). Fish and Shellfish Immunology, 32: 976–985. doi: 10.1016/j.fsi.2012.02.007

Falahatkar B. 2018. Nutritional requirements of the siberian sturgeon: An updated synthesis. P: 207–228. In: Williot P., Nonnotte G., Vizziano-Cantonnet D. and Chebanov M. (Eds.). The Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869), Vol. 1: Biologgy. Springer, Cham, Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-61664-3_11

Falahatkar B., Eslamloo K. and Yokoyama S. 2014. Suppression of stress responses in siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) juveniles by the dietary administration of bovine lactoferrin. Journal of the World Aquaculture Society, 45(6): 699–708. doi: 10.1111/jwas.12153

FAO. 2019. The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Italy. 230P. doi: 10.18356/8c28d3e2-en

Flores-Miranda M., Luna-Gonzalez A., Campa-Cordova A.I., Gonzalez-Ocampo H.A., Fierro Coronado J.A. and Partida-Arangure B.O. 2011. Microbial immunostimulants reduce mortality in whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) challenged with *Vibrio sinaloensis* strains. Aquaculture, 320: 51–55. doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.08.005

Fynn-Aikins K., Hung S.S.O., Liu W. and Li H. 1992. Growth lipogenesis and liver composition of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) fed different carbohydrate levels of D-glucose. Aquaculture, 105: 61–72. doi: 10.1016/0044-8486(92)90162-E

Gabriel U.U., Ezeri G.N.O. and Opabunmi O.O. 2004. Influence of sex, source, health status and acclimation on the haematology of *Clarias gariepinus*. African Journal of Biotechnology, 3: 463–467. doi: 10.5897/AJB2004.000-2090

Gatlin D.M., Barrows F.T., Brown P., Dabrowski K., Gaylord T.G., Hardy R.W., Herman E., Hu G., Krogdahl A., Nelson R., Overturf K., Rust M., Sealy W., Skonberg D., Souza E.J., Stone D., Wilson R. and Wurtele E. 2007.

Expanding the utilization of sustainable plant products in aqua feeds: A review. Aquaculture Research, 38(6): 551–579. doi: 10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x

Gisbert E. and Williot P. 2002. Advances in the larval rearing of Siberian sturgeon. Journal of Fish Biology, 60(5): 1071–1092. doi: 10.1111/j.1095-8649.2002.tb01705.x

Haghbayan S., Shamsaie M., Eila N., Abdolahtabar S.Y., Bozorg Zadeh P. and Rezaie D. 2015. Effects of dietary soybean meal (HP310) source on growth performance and blood parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Journal of Fisheries, 68(2): 209–223. dio: 10.22059/jfisheries.2015.55115

Hajibeglou A. and Sudagar M. 2010. Immune response of common carp (*Cyprinus carpio*) fed with herbal immunostimulants diets. Animal and Veterinary Advances, 9: 1839–1847. doi: 10.3923/javaa.2010.1839.1847

Hansen A.C., Rosenlund G., Karlsen O., Koppe W. and Hemre G.I. 2007. Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua*). I- Effects on growth and protein retention. Aquaculture, 272: 599–611. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.08.034

Hardy R.W. 2002. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). P: 184–202. In: Webster C.D. and Lim C.E. (Eds.). Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture. CABI Publishing, USA. doi: 10.1079/9780851995199.0184

Holcik J. 1989. The Freshwater Fishes of Europe, Vol. 1. Aula Verlag, Germany. 447P.

Hosseinifard S.M., Ghobadi S., Khodabakhsh E. and Razeghi Mansour M. 2013. The effect of different levels of soybean meals and avizyme enzyme supplement on hematological and biochemical parameters of serum in rainbow trout. Iranian Veterinary Journal, 9(3): 43–53.

Imanpoor M.R., Bagheri T. and Azimi A. 2010. Effect of replacing fish meal with soybean meal in diet on some morphometric indices of Persian sturgeon, *Acipenser persicus*. World Journal of Zoology, 5(4): 320–323.

Jahanbakhshi A., Imanpoor M.R., Taghizadeh V. and Shabani A. 2013. Hematological and serum biochemical indices changes induced by replacing fish meal with plant protein (sesame oil cake and corn gluten) in the Great sturgeon (*Huso huso*). Comparative Clinical Pathology, 22: 1087–1092. doi: 10.1007/s00580-012-1532-4

Jalili R., Tukmechi A., Agh N., Noori F. and Ghasemi A. 2013. Replacement of dietary fish meal with plant sources in rainbow trout

(*Oncorhynchus mykiss*); effect on growth performance, immune responses, blood indices and disease resistance. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 12: 577–591. doi: 10.22092/IJFS.2018.114300

Kaushik S.J., Cravedi J.P., Lalles J.P., Sumpter J., Fauconneau B. and Laroche M. 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 133: 257–274. doi: 10.1016/0044-8486(94)00403-B

Kumar A. 2003. Aquatic Environment and Toxicology. Daya Publishing House, India. 431P.

Lim S.J. and Lee K.J. 2009. Partial replacement of fish meal by cottonseed meal and soybean meal with iron and phytase supplementation for parrot fish *Oplegnathus fasciatus*. Aquaculture, 290: 283–289. doi: 10.1016/j.aquaculture.2009.02.018

Luskova V. 1995. Determination of normal values in fish. Acta Universitatis Carolinae Biologica, 39: 191–200.

Matter F., Peganova S. and Eder K. 2004. Lipid concentrations of fillets, liver, plasma and lipoproteins of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), fed diets with varying protein concentrations. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 88: 275–287. doi: 10.1111/j.1439-0396.2004.00483.x

Messina M., McCaskill-Stevens W. and Lampe J.W. 2006. Addressing the soy and breast cancer relationship: Review, commentary, and workshop proceedings. Journal of the National Cancer Institute, 98: 275–284. doi: 10.1093/jnci/djj356

Miyazaki T. 1998. A simple method to evaluate respiratory burst activity of blood phagocytes from Japanese flounder. Fish Pathology, 33: 141–142.

Mohammadi Nafchi F., Mohammadi Azarm H., Yavari V., Salati A.P. and Zanguee N. 2019. Digestive enzyme activity, body composition and biochemical blood factor of juvenile binni fish fed soybean meal and baker's yeast. Journal of Ichthyological Research, 6(3): 129–142.

Movahedrad F., Hajimoradloo A., Zamani A. and Kolangi H. 2018. Effect of dietary fish meal replacement by AquPro (Processed soybean meal) on growth performance and digestive enzymes activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. Iranian Scientific Fisheries Journal, 27(2): 47–59. doi: 10.22092/ISFJ.2018.116694

Munker R., Hillwe E., Glass J. and Paquette R. 2007. Modern Hematology: Biology and Clinical Management. Humana Press, USA. 498P. doi: 10.1007/978-1-59745-149-9

Murphy P.A., Song T., Buseman G., Barua K., Beecher G.R., Trainer D. and Holden J. 1999. Isoflavones in retail and institutional soy foods. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 47: 2697–2704. doi: 10.1021/jf981144o

Nespolo R.F. and Rosenmann M. 2002. Intraspecific allometry of haematological parameters in *Basilichtys australis*. Journal of Fish Biology, 60: 1358–1362. doi: 10.1111/j.1095-8649.2002.tb01732.x

NRC (National Research Council). 2011. Nutrient Requirements of fish and shrimp. National Academy of Sciences, USA. 376P. doi: 10.1007/s10499-011-9480-6

Ogunji J.O., Kloas W., Wirth M., Neumann N. and Pietsch C. 2008. Effect of housefly maggot meal (magmeal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus* fingerlings. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 92: 511–518. doi: 10.1111/j.1439-0396.2007.00745.x

Pagheh E., Ghafleh Marammazi J., Agh N., Noori F., Sepahdari A. and Torfi Mozanzadeh M. 2019. Effects of dietary soybean lecithin on growth performance, feed utilization and hematological parameters of juvenile sobaity seabream (*Sparidentex hasta*). Iranian Scientific Fisheries Journal, 28(1): 131–144. doi: 10.22092/ISFJ.2019.118886

Peeters P.H., Keinan-Boker Y.T., Schouw V. and Grobbee D.E. 2003. Phytoestrogens and breast cancer risk. Review of the epidemiological evidence. Breast Cancer Research Treatment Journal, 77(2): 171–183. doi: 10.1023/a:1021381101632

Peres H., Lim C. and Klesius P.H. 2003. Nutritional value of heat-treated soybean meal for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture, 225: 67–82. doi: 10.1016/S0044-8486(03)00289-8

Refstie S., Sahlstrom S., Brathen E., Baeverfjord G. and Krogedal P. 2005. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and antinutritional factors in soybean meal for Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 246: 331–345. doi: 10.1016/j.aquaculture.2005.01.001

Rehulka J. 2000. Influence of astaxanthin on growth rate, condition, and some blood indices of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 190: 27–47. doi: 10.1016/S0044-8486(00)00383-5

Rios F.S., Kalinin A.L. and Rantin F.T. 2002. The Effects of long-term food deprivation on

respiration and haematology of the neotropical fish *Hoplias malabaricus*. Journal of Fish Biology, 61: 85–95. doi: 10.1111/j.1095-8649.2002.tb01738.x

Roberts R.J. 2001. Fish Pathology. Sounders, UK. 472P.

Rumsey G.L., Siwicki A.K., Anderson D.P. and Bowser P.R. 1994. Effect of soybean protein on serological response, non-specific defense mechanisms, growth, and protein utilization in rainbow trout. Veterinary Immunology and Immunopathology, 41: 323–339. doi: 10.1016/0165-2427(94)90105-8

Saedi M., Sajjadi M.M., Hoseinzadeh Sahafi H. and Emadi H. 2012. Effect of replacing fish meal by soybean meal in diet of red pacu (*Piaractus brachypomus*) Journal of Fisheries, 65(1): 27–37. doi: 10.22059/JFISHERIES.2012.24867

Safaei H., Khara H., Falahatkar B. and Vahabzadeh H. 2019. The replacement effect of soybean meal instead of fish meal in the diet on growth, quality of meat and some blood factors in sterlet fry (*Acipenser ruthenus*). Journal of Animal Environment, 11(1): 181–188.

Salahshoori E., Falahatkar B. and Efatpanah I. 2017. The Effect of dietary protein levels on growth performance and hematological parameters of juvenile beluga sturgeon (*Huso huso*). Journal of Aquaculture Development, 11(1): 51–62.

Sandstrom O. 1989. Seasonal variations in some blood parameters in perch, *Perca fluviatilis* L. Journal of Applied Ichthyology, 5(2): 85–95. doi: 10.1111/j.1439-0426.1989.tb00477.x

Shahsavani. D. 1998. Determination of hematological indices in sturgeons in southeastern coast of the Caspian Sea (In Persian). Ph.D. Thesis, University of Tehran, Iran. 120P.

Silva-Carrillo Y., Hernandez C., Hardy R.W., Gonzalez-Rodriguez B. and Castillo-Vargasmachuca S. 2012. The effect of substituting fish meal with soybean meal on growth, feed efficiency, body composition and blood chemistry in juvenile spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*). Aquaculture, 364: 180–185. doi: 10.1016/j.aquaculture.2012.08.007

Skov P.V., Larsen B.K., Frisk M. and Jokumsen A. 2011. Effects of rearing density and water current on the respiratory physiology and haematology in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at high temperature. Aquaculture, 319: 446–452. doi: 10.1016/j.aquaculture.2011.07.008

Sotoudeh E., Amiri Moghaddm J., Shahoseini G.R. and Bagheri D. 2017. Changes in final weight, survival and fatty acids

composition of Caspian brown trout (*Salmo trutta caspius*) fed gamma-irradiated and fermented soybean meal. Aquatic Animals Nutrition, 2(2): 33–46. doi: 10.22124/JANB.2017.3167

Steele T.A. and Brahmi Z. 1988. Phosphatidylinositol metabolism accompanies early activation events in tumor target cell-stimulated human natural killer cells. Cell Immunology, 112: 402–413. doi: 10.1016/0008-8749(88)90309-7

Stoskopf M.K. 1998. Marine Mammals. Environmental Diseases. National Publishing Inc, USA. 1359P.

Swick R.A., Akiyama D.M., Boonyaratpalin M. and Creswell D.C. 1995. Use of soybean meal and synthetic methionine in shrimp feed. American Soybean Association, USA. 43P.

Taghizadeh V., Imanpoor M.R., Asadi R., Chamanara V. and Sharbati S. 2011. Effects of plant proteins as food on growth performance, carcass quality and plasma biochemical parameters of beluga juvenile (*Huso huso*). Iranian Scientific Fisheries Journal, 19(4): 33–42. doi: 10.22092/ISFJ.2017.109958

Taghva K., Falahatkar B. and Sajadi M.M. 2020. Effect of fish meal replacement with Aqupro (processed soybean meal) on growth performance and body composition of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). Jouranl of Aquaculture Sciences, 8(2): 178–191.

Tantikitti C., Sangpong W. and Chiavareesajja S. 2005. Effects of defatted soybean protein levels on growth performance and nitrogen and phosphorus excretion in Asian seabass (*Lates calcarifer*). Aquaculture, 248: 41–50. doi: 10.1016/j.aquaculture.2005.04.027

Tavares-Dias M., Tenani R.A., Gioli L.D. and Faustino C.D. 1999. Caracteristicas hematologicas de teleosteos brasileiros. II. Parametros sanguineos do *Piaractus mesopotamicus* Holmberg (Osteichthyes, Characidae) em policultivo intensive. Revista Brasilera de Zoologia, 16: 423–431. doi: 10.1590/s0101-81751999000200008

Vinodhini R. and Narayanan M. 2009. The impact of toxic heavy metals on the hematological parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering, 8: 23–28.

Wang J., Yun B., Xue M., Wu X., Zheng Y. and Li P. 2012. Apparent digestibility coefficients of several protein sources, and replacement of fishmeal by porcine meal in diets of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicas*), are affected by dietary protein levels. Aquaculture Research, 43: 117–

127. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02810.x

Wang Y.P., Tang J.S., Chu C.Q. and Tian J. 2000. A preliminary study on the introduction and cultivation of *Crambe abyssinica* in China, an oil plant for industrial uses. Industrial Crops and Products, 12: 47–52. doi: 10.1016/S0926-6690(99)00066-7

Whitten P.L. and Naftolin F. 1992. Effects of a phytoestrogen diet on estrogen-dependent reproductive processes in immature female rats. Steroids, 57(2): 56–61. doi: 10.1016/0039-128x(92)90029-9

Williot P., Sabeau L., Gessner J., Arlati G., Bronzi P., Gulyas T. and Berni P. 2001. Sturgeon farming in Western Europe: Recent developments and perspectives. Aquatic Living Resources, 14(6): 367–374. doi: 10.1016/S0990-7440(01)01136-6

World Bank. 2013. Fish to 2030: Prospects for fisheries and aquaculture. Report Number 83177-GLB, Agriculture and Environmental Services (AES), World Bank Group, USA. 100P.

Yamamoto T., Iwashita Y., Matsunari H., Sugita T., Furuita H., Akimoto A., Okamatsu K. and Suzuki N. 2010. Influence of fermentation conditions for soybean meal in a non-fish meal diet on the growth performance and physiological condition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 309: 173–180. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.021

Ye J., Liu X., Wang Z. and Wang K. 2011. Effect of partial fish meal replacement by soybean meal on the growth performance and biochemical indices of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 19: 143–153. doi: 10.1007/s10499-010-9348-1

Zhang Y., Song T.T., Cunnick J.E., Murphy P.A. and Hendrich S. 1999. Daidzein and genistein glucuronides in vitro are weakly estrogenic and activate human natural killer cells as nutritionally relevant concentrations. Journal of Nutrition, 129(2): 399–405. doi: 10.1093/jn/129.2.399

Zhou Q.C., Mai K.S., Tan B.P. and Liu Y.J. 2005. Partial replacement of fishmeal by soybean meal in diets for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). Aquaculture Nutrition, 11(3): 175–182. doi: 10.1111/j.1365-2095.2005.00335.x

Zhu H., Gong G., Wang J., Wu X.F., Xue M., Niu C.J., Guo L.Y. and Yu Y. 2011. Replacement of fish meal with blend of rendered animal protein in diets for Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*), results in performance equal to fish meal fed fish. Aquaculture Nutrition, 17: 1389–1395. doi: 10.1111/j.1365-2095.2010.00773.x

Aquatic Physiology and Biotechnology
Vol. 11, No. 3, Autumn 2023

Research Paper

Effect of fish meal replacement with Aqupro (processed soybean meal) on hematological and biochemical indices of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*)

Khadije Taghva[1], Bahram Falahatkar[2,3]*, Mir Masoud Sajjadi[2]

DOI: 10.22124/JAPB.2023.22854.1480

Received: September 2022 Accepted: May 2023

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of fish meal replacement by Aqupro (processed soybean meal) on hematological and biochemical indices of juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). To do this, 105 juvenile Siberian sturgeon (initial body weight 171.79±1.07g) were distributed in five treatments each with three replicates. The experimental treatments included the control (AP0), 20 (AP20), 40 (AP40), 60 (AP60) and 80 (AP80) percent replacement of Aqupro substituted with fish meal. Fish were fed according to apparent satiation four times daily for 12 weeks. According to the results, the highest final weight was observed in the control treatment (252.95±27.00g) and among the treatments containing Aqupro, the highest and lowest weights were observed in AP60 (226.38±14.71g) and AP40 (211.09±4.14g), respectively, but no significant difference was observed in any treatments ($P>0.05$). Hematological results showed significant differences in the number of white blood cells and differential white blood cells in some treatments with the control group ($P<0.05$). The percent of lymphocytes showed no significant difference between treatments and control ($P>0.05$), but AP20 and AP40 showed significant differences with AP60 and AP80 ($P<0.05$). There were no significant differences in the number of red blood cells, hemoglobin, hematocrit, MCV, MCH and MCHC among treatments ($P>0.05$). The highest cholesterol level was observed in AP60 and showed a significant difference with control ($P<0.05$). Glucose levels showed significant differences between different treatments, as the lowest level was found in AP80 and indicated a significant difference with control ($P<0.05$). No significant differences were observed in plasma triglyceride and proteins (total protein, globulin and albumin) compared with control ($P<0.05$). According to the results of this study, due to the importance of fish meal and its high price, nutritional value of Aqupro and easy accessibility and also no negative impact on measured indices, replacement of high levels of fish meal with Aqupro is possible in Siberian sturgeon diet.

Key words: *Replacement, Blood Indices, Soybean Meal, Vegetable Protein, Siberian sturgeon*

1- M.Sc. Student in Aquaculture, Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran.
2- Professor in Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran.
3- Professor in Department of Marine Sciences, The Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran.

*Corresponding Author: falahatkar@guilan.ac.ir